从可视化分析看 AI 在食管癌领域近 22 年全球研究趋势探析

涂嘉欣[1] 叶惠清[1] 张小强[2] 林雪婷[1] 杨善岚[1] 邓莉芳[1] 吴磊[1]*

基金：江西省城市癌症早诊早治疗经济学评价项目（JXTC2020040486，2020）、南昌大学创新创业项目（2022）

1 南昌大学公共卫生学院流行病学教研室，江西省预防医学重点实验室

2 南昌大学第二附属医院心胸外科

南昌 330006

作者简介：涂嘉欣（1998—），女，硕士在读，主要从事老年肿瘤流行病学研究。

通信作者：吴磊，E-mail: Wulei2060@aliyun.com，教授。

【摘要】目的 通过可视化文献计量分析，总结人工智能在食管癌应用和发展历程，阐明 AI 在其中的研究进展、热点和新兴趋势。**方法** 检索 WoSCC 的 SCI-E 数据库 2000 年 1 月 1 日~2022 年 4 月 6 日收录 AI 应用于食管癌领域的所有英文文献的全部信息。应用 Microsoft Excel 2019、CiteSpace(5.8R3-64bit) 和 VOSviewer(1.6.18)对文献进行发文量、国家、作者、机构、共被引和关键词分析。**结果** 共计纳入 918 篇文献，共计引用文献 23490 篇； 5,979 位作者、39962 位共同被引作者、42992 篇共被引文献被纳入研究；突现关键词共 33 个，研究前沿变化早期（2001-2008）为 p53 等食管癌基因，中期（2013-2018）以食管癌分类、鉴别、比较研究为重心，近期（2019-2022）以数据库结合深度学习、卷积神经网络、机器学习在食管癌检查、诊断应用为最强热点、最新前沿。**结论** 食管癌人工智能研究领域已迈入新阶段，整体朝精准检查、诊断和治疗方向发展。未来 AI 应用于食管癌的挑战可能主要存在于食管癌个体化数据收集、数据质量、数据处理规范、AI 代码复现、辅助诊断可信度决策上。

关键词：食管癌；人工智能；可视化分析；CiteSpace；

批注 [tt1]: 对应问题 5，软件名称调整为原样书写。

Visual analysis of global research hotspots and trends of artificial intelligence in esophageal cancer from 2000 to 2022

Abstract Objective Through visual bibliometric analysis, the application and development of artificial intelligence in esophageal cancer are summarized, and the research progress, hotspots and emerging trends of AI in it are clarified. **Methods** The

SCI-E database of WoSCC was searched from January 1, 2000 to April 6, 2022 to include all the information of all English literatures on the application of AI in the field of esophageal cancer. Using Microsoft Excel 2019, CiteSpace (5.8R3-64bit) and VOSviewer (1.6.18) to visualize the literature, analyze the number of publications, countries, authors, institutions, co-citations and keywords. **Results** A total of 918 papers were included, with a total of 23,490 citations. A total of 5,979 authors, 39,962 co-cited authors, and 42,992 co-cited papers were included in the study. A total of 33 keywords emerged, and research fronts changed. In the early stage (2001-2008), esophageal oncogenes such as p53. And in the middle stage (2013-2018), the focus was on the classification, identification, and comparison of esophageal cancer. Recently (2019-2022), the database combined with deep learning, convolutional neural network, and machine learning. It is the strongest hot spot and the latest frontier in the examination and diagnosis of esophageal cancer. **Conclusion** The field of artificial intelligence research for esophageal cancer has entered a new stage, and the overall development is in the direction of precise inspection, diagnosis and treatment. The challenges of applying AI to esophageal cancer in the future may mainly lie in individualized data collection, data quality, data processing specifications, AI code reproduction, and assisted diagnosis reliability decision-making for esophageal cancer.

Keywords: esophageal cancer; artificial intelligence; visual analysis; CiteSpace;

食管癌（Esophageal Carcinoma，ESCA），包括食管腺癌和食管鳞状细胞癌，它是全球第七大最常见的癌症（按发病率）,第六大致死癌症（按死亡率），新发病例死亡率高于 50%[1]。近 20 年，食管癌在诊断、治疗、预后等方面取得了重大进展，尤其新兴的人工智能（Artificial Intelligence, AI）逐渐被应用于医疗卫生中疾病诊断、基因组数据分析等许多领域[2,3]，这在一定程度上更是帮助提高了 ESCA 诊断结果的准确率[4,5]。但随着 AI 在 ESCA 领域应用研究的剧增，研究人员很难弄清该领域的最新发展和研究热点。因此，本研究进行了 2000~2022 年的 22 年可视化文献计量分析，总结 AI 在食管癌的应用和发展历程，阐明 AI 在其中的研究进展、热点和新兴趋势，以帮助该领域研究者更好把握未来研究方向。

批注 [tt2]: 对应问题 2，补充首次出现名词英文。

1 资料与方法

1.1 资料来源

检索 WoSCC(Web of Science Core Collection)的 SCI-E(Science Citation Index Expanded)数

据库，具体检索要求及结果（表 1）。所有检索工作在 2022 年 4 月 6 日当天完成以确保没有数据更新。共检索到文献 1074 篇，筛除非英语 2 篇、与主题不相关 141 篇、文献类型不符（非研究类、综述类文章）12 篇、重复发表 1 篇，最终得到 918 篇有效文献。

批注 [tt3]: 对应问题 6 补充筛选标准。

表 1　AI 在食管癌领域研究文献检索一览表

检索步骤	检索式	文献数量
1#	esophag* (Topic) or oesophag* (Topic) or gullet (Topic) and Article OR Review (Document Type) and English (Language)	103423
2#	cancer* (Topic) or tumour* (Topic) or tumor* (Topic) or neoplas* (Topic) or onco* (Topic) or carcinoma* (Topic) and Article OR Review (Document Type) and English (Language)	32722
3#	1# AND 2#	54077
4#	"artificial intelligen*" (Topic) or computational NEAR/5 intelligence (Topic) or expert* system* (Topic) or intelligent learning (Topic) or feature* extraction (Topic) or feature* mining (Topic) or feature* learning (Topic) or machine learning (Topic) or feature* selection (Topic) or unsupervised clustering (Topic) or image* segmentation (Topic) or supervised learning (Topic) or semantic segmentation (Topic) or deep network* (Topic) or bayes* network (Topic) or deep learning (Topic) or neural network* (Topic) or neural learning (Topic) or neural nets model (Topic) or artificial neural network (Topic) or data mining (Topic) or graph mining (Topic) or data clustering (Topic) or big data (Topic) or knowledge graph (Topic) or AI (Topic) and Article OR Review (Document Type) and English (Language)	1068667
5#	3# AND 4#	1074

批注 [tt4]: 原本文献要求遗漏未写出，仅体现在检索式中。现已通过解决问题 6 进行补充。

Table 1 List of research literatures on AI in the field of　esophageal cancer

1.2 数据处理

文献数据由两名课题组成员分别下载和分析，以确保数据的准确性和研究的重复性，其导出内容包括全部信息（标题、作者、单位等）以及所有引用文献。Microsoft Excel 2019、CiteSpace(5.8R3-64bit)和 VOSviewer(1.6.18)被用于数据分析与可视化。可视化软件时间片固定为 1 年，阈值设定 g-index=25，最终绘制作者、机构、关键词等共现图谱，同时结合词频、中心性等客观数据，评估分析对象的研究热度、重要程度等。

2 结果

2.1 文献发表

自 2000 年以来，食管癌中 AI 研究的发文量每年稳步增加，根据增长趋势划分为两阶段：2000 年至 2016 年为迟缓期，发文量仅从 6 篇增至 40 篇；2017 年至 2022 年为快速增长期，发文量从 62 增突增至 216 篇。近 10 年的发文量占所有出版文献的 80%以上。918 篇文献的 H 型指数（H-index）和平均引用次数分别为 74 和 25.37。引用文献数量趋势基本与发

文量保持一致，截至搜索日期共计引用文献总量达 23490 篇。

2.2 国家、机构、作者分析

国家 超过 60 个国家、 118 家机构参与了人工智能在 ESCA 的应用研究。用 VOSviewer 对其合作关系进行可视化分析。在国家分析中，发文量排名前三的分别是中国（306 篇）、美国（238 篇）、英国（113 篇）。连线粗细（Total Link Strength，TLS）反应各国之间合作关系密切程度，以美国为中心开展研究众多，尤其以美国-中国合作最为密切，其次是美国-荷兰。

机构 在发文机构分析中，合作强度排名前 3 的 TLS 分别是阿姆斯特丹大学（TLS = 72）、凯瑟琳医院（TLS = 64）、埃因霍芬大学（TLS = 53）。具体从图 2（b）可以看出美国梅奥医学中心是衔接美国、中国、荷兰三国机构研究成果的中介机构。

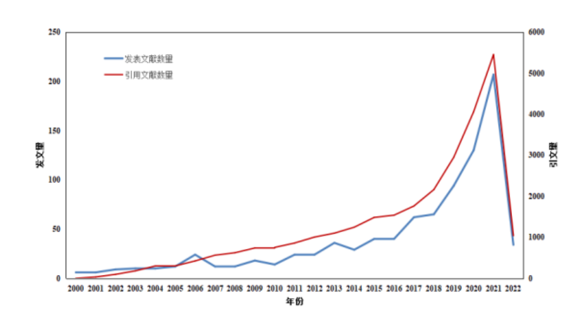


图 1　近 22 年 WoSCC 数据库中全球食管癌的 AI 应用年发文、引文数量

Figure 1 Annual publications and citations of AI applications in global　esophageal cancer in the WoSCC database in the past 22 years

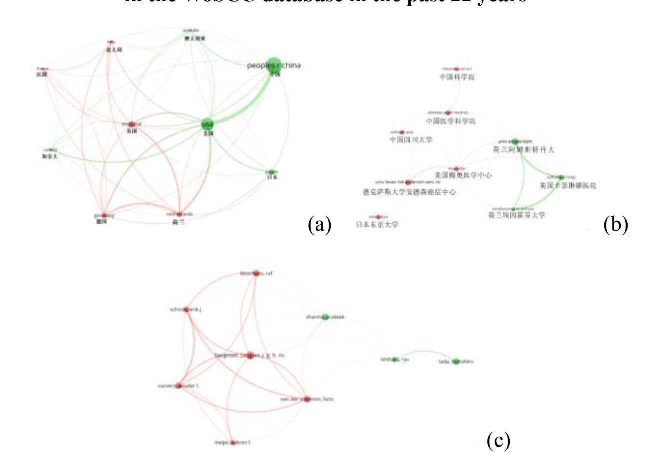


图 2　VOSviewer 可视化近 22 年合作关系图谱(a)发文量 top10 国家、(b)发文总量＞15 篇

机构、(c)发文量总量>10 篇作者

Figure 2 The VOSviewer visualizes the cooperative relationship map in the past 22 years (a) Top 10 countries with published papers, (b) institutions with total published papers > 15 institutions, (c) total published papers > 10 authors

作者 共有 5, 979 位作者被纳入研究。图 4 给出了总发文量>10 篇的 9 位作者合作关系，发文量最高的前三位是荷兰 Jacques J G H M Bergman（16 篇）、日本 Tomohiro Tada（12 篇）、荷兰 Fons Van Der Sommen（12 篇）。作者之间合作关系密切与发文量不成正相关，如日本 Tomohiro Tada 发文量第二，但与其他作者合作强度值是 9 人中最低（TLS=7）。荷兰作者内部合作明显密切于其他国家作者。

2.3 共被引分析

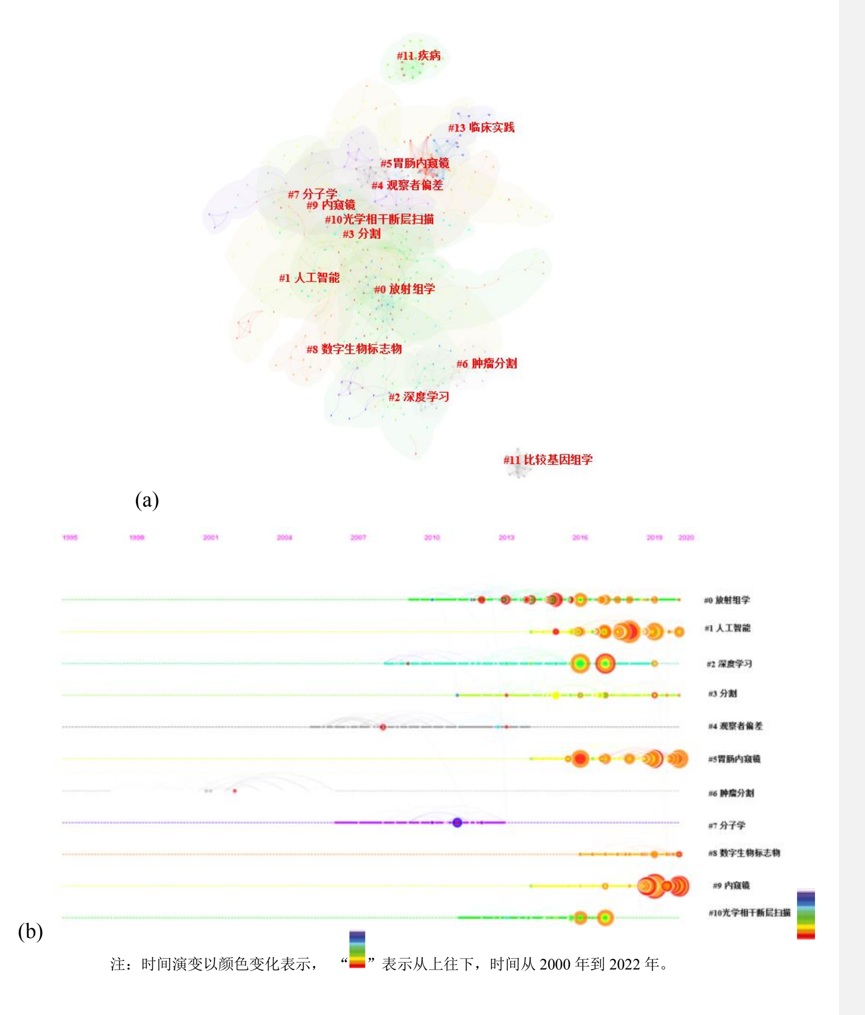
表 2 CiteSpace 可视化文献作者共被引 top10 分析（2000~2022 年）

Table 2 Analysis of the top 10 co-cited authors of CiteSpace visual literature (2000-2022)

共被引作者	地区	共被引次数	总被引次数	中介中心值
Freddie Ian Bray	法国	89	304	0.00
Prateek Sharma	美国	87	1907	0.04
Yoshimasa Horie	日本	56	691	0.04
Jacques Ferlay	法国	53	748	0.01
Jesper Lagergren	瑞典	52	1591	0.15
Lambin Philippe	比利时	46	562	0.04
Rebecca L Siegel	美国	46	417	0.00
Hirasawa Toshiaki	日本	45	1025	0.06
Nicholas James Shaheen	美国	45	136	0.04
Thomas William Rice	美国	43	1107	0.12

39,962 位共同被引作者、42,992 篇共被引文献(按引用次数计算)被纳入研究。CiteSpace，采用剪枝选择寻径网络法+裁剪单切片网络+裁剪合并，最终得到 LRF=3.0，L/N=10，LBY=5，e=1.0，N=955，E=1908，density=0.0042 的共被引用文献网络。部分结果如表 2 所示，法国 Freddie Ian Bray、美国 Prateek Sharmal 和日本 Yoshimasa Hories 作者共被引频次排名前三，分别 87、56 和 53 次。总被引次数前三名依次为美国 Prateek Sharma Jesper、瑞典 Jesper Lagergren 和美国 Thomas William Rice。表 3 列出了共被引文献排名前 10 的基本信息，其中《Gastrointestinal Endoscopy》和《Ca-A Cancer Journal For Clinicians》杂志发表文章数量合计过半，总量上中国人发表文章占到 4 篇。聚类分析图谱中模块聚类值 Q=0.9469，模块平均轮廓值 S=0.8448，表明其聚类效果佳（Q>0.3），网络同质性好可信度高（S>0.7）。据此得

出共被引文献主要涉及研究领域在放射组学、内窥镜检查、肿瘤分割、光学相干断层扫描等方面（详见图 3a）。中介中心性表示测度节点在整个共现网络中的重要性，其中瑞典 Jesper Lagergren 和美国 Thomas William Rice 中心性均＞0.1，表明在共被引文献网络中十分重要，其发表的文献是衔接不同聚类模块之间的核心。图 3b 时间演变用不同颜色表示，线条颜色代表聚类出现时间，“观察者偏差” 模块在聚类最早出现（灰色）；线条上的节点出现时间表示该聚类块文献首次引用时间，表明“数字生物学标志物”模块聚类是这里面最晚出现（2016 年）。圆圈颜色表示文献引用时间变化规律，可以发现“内窥镜”、“放射组学”、“深度学习”近两年热度甚高（红色）；圆圈大小则表示引用次数多少，“人工智能”、“深度学习”、“内窥镜”聚类圆圈大，表明这 3 个领域被引用频次极高，处于研究热点。



注：时间演变以颜色变化表示，“ ”表示从上往下，时间从 2000 年到 2022 年。

图 3 CiteSpace 共被引文献聚类分析图谱(a)前 14 位聚类团; (b)主要聚类团共被引文献出现时间演变规律

Figure 3 CiteSpace co-cited literature cluster analysis map

(a) Top 14 clusters; (b) Time evolution of co-cited documents in main clusters

2.4 关键词

关键词频率分析有助于阐明 AI 在食管癌目前研究重点方向。共计有 3,861 个关键词被纳入研究，结合图 4 可以看出，癌症、食管癌和腺癌关键词出现频率极高，超 100 次；其次鳞状细胞癌、诊断、生存、巴雷特食管、分类、深度学习、风险、预后、表达等关键词频率相对较高，超 50 次。根据年发文量增速变化趋势，分为 2000~2016 年、2017~ 2022 年两个阶段，对全球食管癌领域的 AI 应用的关键词演变过程进行分析。CiteSpace 具体分析方法同前。

表 3　CiteSpace 共被引文献 top10 分析（2000~2022 年）

Table 3 Analysis of top 10 co-cited articles via CiteSpace (2000-2022)

序号	文章标题	杂志	作者	出版年份	共被引次数
1	Global cancer statistics 2018: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries	Ca-A Cancer Journal for Clinicians	Bray F; et al.	2018	87
2	Diagnostic outcomes of esophageal cancer by artificial intelligence using convolutional neural networks	Gastrointestinal Endoscopy	Horie Y; et al.	2019	56
3	Application of artificial intelligence using a convolutional neural network for detecting gastric cancer in endoscopic images	Gastric Cancer	Hirasawa T; et al.	2018	43
4	Real-time automated diagnosis of precancerous lesions and early esophageal squamous cell carcinoma using a deep learning model (with videos)	Gastrointestinal Endoscopy	Guo LJ; et al.	2019	37
5	Deep-Learning System Detects Neoplasia in Patients With Barrett's Esophagus With Higher Accuracy Than Endoscopists in a Multistep Training and Validation Study With Benchmarking	Gastroenterology	De Groof AJ; et al.	2020	32
6	Endoscopic detection and differentiation of esophageal lesions using a deep neural network	Gastrointestinal Endoscopy	Ohmori M; et al.	2020	32
7	Using a deep learning system in endoscopy for screening of early esophageal squamous cell carcinoma (with video)	Gastrointestinal Endoscopy	Cai SL; et al.	2019	31

8	Computer-assisted diagnosis of early esophageal squamous cell carcinoma using narrow-band imaging magnifying endoscopy	Endoscopy	Zhao YY	2019	30
9	Integrated genomic characterization of oesophageal carcinoma	Nature	Kim J	2017	30
10	Cancer statistics in China, 2015	Ca-A Cancer Journal for Clinicians	Chen WQ	2016	30

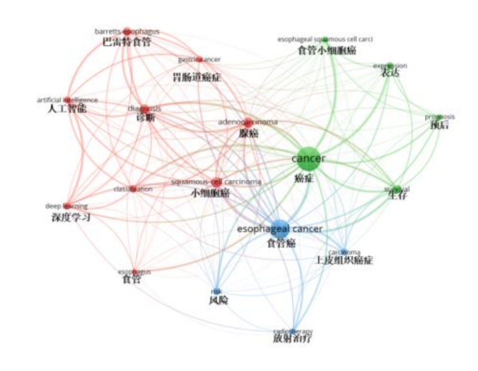
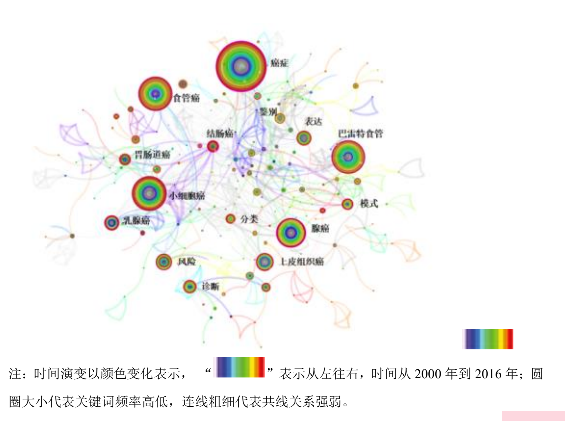


图 4 VOSviewer 关键词共线图谱可视化（出现频率≥50）

Figure 4 Visualization of the collinear map of keywords in VOSviewer (frequency of occurrence ≥ 50)

2.4.1 2000~2016 年

得到 LRF=3.0，L/N=10，LBY=5，e=1.0，N=421，E=901，density=0.0102 的共被引用文献网络。此时期癌症、食管癌、巴雷特食管等关键词词频高但共线关系较差。风险成为除癌症类别关键词外出现的最高频次关键词（23 次），表明这一时期癌症相关风险因素的研究较多。关键词中心性＞0.1 及其词频结果统计见表 4。结直肠癌、癌症、上皮小细胞癌、小细胞癌、突变、上皮组织癌、巴雷特食管癌、食管癌、乳腺癌、p53 基因等有较高的中介中心性。本时期研究主要内容以癌症诊断、鉴别、风险、表达相关，具体以结肠癌、胃肠道癌、小细胞癌、乳腺癌等癌症为中介关键词。



注：时间演变以颜色变化表示，“ ”表示从左往右，时间从 2000 年到 2016 年；圆圈大小代表关键词频率高低，连线粗细代表共线关系强弱。

图 5　2000~2016 年 WoSCC 数据库中 AI 应用于食管癌领域关键词 CiteSpace 可视化共现图谱

Figure 5 CiteSpace Visualization co-occurrence map of keywords in the field of esophageal cancer using AI in the WoSCC database from 2000 to 2016

批注 [tt5]: 对应问题 7，对图、表中作图软件具体名称进行补充。

表 4　2000~2016 年 WoSCC 数据库中 AI 应用于食管癌领域中心性＞0.10 关键词信息表（CiteSpace）

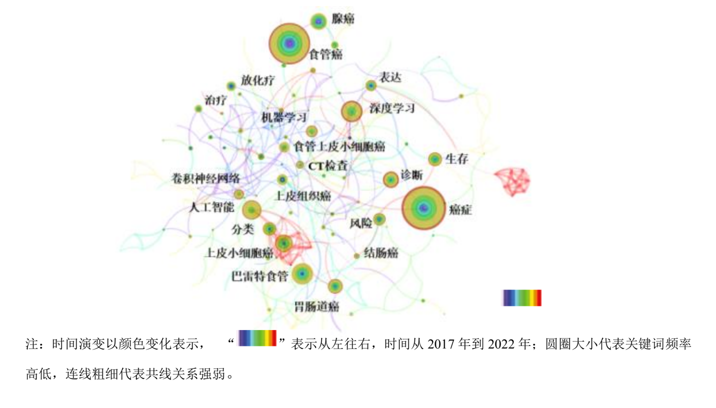
Table 4 Keyword centrality of AI applied to esophageal cancer in WoSCC database from 2000 to 2016 (CiteSpace)

序号	中心性	频率	年份	关键词
1	0.31	16	2000	结直肠癌
2	0.23	71	2000	癌症
3	0.23	41	2000	上皮小细胞癌
4	0.19	49	2000	小细胞癌

5	0.19	6	2005	突变
6	0.18	47	2003	巴雷特食管癌
7	0.17	48	2000	食管癌
8	0.17	21	2001	乳腺癌
9	0.17	6	2001	p53 基因
10	0.13	25	2001	上皮组织癌
11	0.12	10	2003	肿瘤
12	0.11	23	2007	风险
13	0.11	8	2015	食管腺癌

2.4.2 2017~2022 年

得到 LRF=3.0，L/N=10，LBY=5，e=1.0，N=289，E=485，density=0.0117 的关键词共现网络。关键词数量有所增加且共线关系更为紧密。除食管癌、人工智能检索词出现频次高外，机器学习、深度学习、卷积神经网络词频出现骤增，特别深度学习出现频次达到 65，是除检索词以外最高词频关键词，表明此时期对深度学习研究较多，AI 在 ESCA 领域的应用以深度学习为主。关键词中心性＞0.1 及其词频结果统计见表 5，反映出生物学标志物、基因、表达、发育不良、计算机辅助检测、准确度、氟-18 FDG 断层扫描等关键词强中心性。同时对比表 4、结合图 6 可以看出，此时期主要研究内容从总体癌症研究（含食管癌）转为对食管癌主要标志物、鉴别、检查、诊断、放化疗研究，同时围绕人工智能中的机器学习、深度学习、卷积神经作为主要应用方法。



注：时间演变以颜色变化表示，“ ”表示从左往右，时间从 2017 年到 2022 年；圆圈大小代表关键词频率高低，连线粗细代表共线关系强弱。

图 6　2017~2022 年 WoSCC 数据库中 AI 应用于食管癌领域关键词 CiteSpace 可视化共现图谱

Figure 6 CiteSpace Visualized co-occurrence map of keywords in the WoSCC database for AI applications in the field of esophageal cancer from 2017 to 2022

表 5　2017~2022 年 WoSCC 数据库中 AI 应用于食管癌领域中心性

> 0.10 关键词信息表（CiteSpace）

Table 5 The application of AI in the field of esophageal cancer in the WoSCC database from 2017 to 2022 keyword Centrality > 0.10 keyword information table (CiteSpace)

序号	中心性	频率	年份	关键词	序号	中心性	频率	年份	关键词
1	0.24	11	2017	生物学标志物	14	0.14	20	2017	验证
2	0.22	18	2017	基因	15	0.13	36	2017	上皮组织癌
3	0.2	38	2017	表达	16	0.13	4	2020	计算机辅助诊断
4	0.19	19	2017	发育不良	17	0.13	26	2017	肺癌
5	0.18	15	2017	协助	18	0.13	13	2017	食管癌
6	0.18	6	2020	计算机辅助检测	19	0.13	2	2020	完全病理反应(CPR)
7	0.17	8	2019	准确度	20	0.13	4	2018	术前放化疗
8	0.17	10	2017	氟-18 FDG 断层扫描	21	0.12	4	2020	食管上皮小细胞癌
9	0.17	4	2017	肿瘤抑制因子	22	0.11	5	2021	生物信息学分析
10	0.16	11	2017	数据	23	0.11	42	2017	CT 检查
11	0.15	22	2017	结肠癌	24	0.11	4	2018	标志物
12	0.14	6	2017	FDG 断层扫描	25	0.11	41	2017	风险
13	0.14	11	2017	鉴别	26	0.11	2	2017	纹理特征

2.4.3 关键词突现

关键突现表示在特定时间该关键词出现频次显著高于其他年份，代表该时间研究热点突现和研究前沿变化情况。突现检测参数设置最小持续时间为 1，其余设置默认。最终检测到近 22 年世界食管癌人工智能领域共有突现词 33 个，所有关键词第一次出现时间均在 2000 年，图 6 给出了其中 top25 突现关键词具体信息（按照首次出现研究前沿时间排序）。最早期（2001-2008）以 p53、突变为主的食管癌基因相关研究为主；逐步出现了对食管癌风险因素的研究（2007-2013）；中期（2013-2018）主要以食管癌分类、检查（断层扫描）新技术以及食管癌和不同癌种之间区分、鉴别和比较为研究重心；期间穿插食管癌治疗方法更新研究（放化疗，2017-2019）；再到近期可以很明确的看出自 2018 年开始首次高频出现关键词——数据库，表明该领域首次有大量文章开始对食管癌相关数据库信息进行探索，并且研究方法在不管更新深入——如深度学习、卷积神经网络、机器学习（2019-2022），尤其是深度学习一词突现强度更是排在了 33 个突现关键词首位（13.89），说明在食管癌人工智能领域的深度学习是现阶段研究最强热点、最新前沿。纵观本次研究还发现，原本计算机辅助食管癌检查已经跃升为计算机辅助食管癌诊断，标志着食管癌人工智能研究领域已经迈入新阶段（2020-2022）。

图 7　2000~2022 年 WoSCC 数据库中食管癌域人工智能研究文献 top25 突现关键词信息（CiteSpace）

Figure 7　Information on the top 25 emerging keywords of artificial intelligence research papers in the　esophageal cancer domain in the WoSCC database from 2000 to 2022 (CiteSpace)



注：突现强度大小表示该关键词的突现率大小，突现持续时间用红色色块宽度表示，首次年份、末次年份标识该关键词成为研究前沿开始和结束时间。

3 讨论

随着大数据分析时代的到来，研究人员需要充分了解其研究领域的发展，与系统综述或荟萃分析不同，文献计量分析使用 VOSviewer 和 CiteSpace 等可视化软件对特定时间段所有文献进行综合分析，直观了解研究发展趋势，以预测未来研究热点[6]。本研究首次通过文献计量分析总结了人工智能在食管癌中的应用现状，直观地揭示了 AI 在 ESCA 的发展趋势和未来研究热点。

就发文量而言，在过去一段时间人工智能在各个领域得到了迅速发展[7]。16 年起，人工智能在 ESCA 中的应用也呈指数爆发增长[8]。特别是在过去的 10 年里，发表的论文数量占到 80%以上。可以预见，未来将有更多的国家和研究人员参与食管癌的人工智能研究。生产力最强的中国发表了 306 篇论文，作为该领域新兴国家发文数量已达最多，同时在共被引文献分析 top10 中，中国人发表该领域重要文献 4 篇，但与其他国家合作强度上却较弱，美国、荷兰之间则合作更为紧密，在机构、作者的合作图谱分析中也得以印证。此外，引文量可以反映文章或期刊的传播程度和影响力，从而表明其质量和学术地位[9]。在共被引作者分析中，

来自美国的多位作者在共被引次数和总引用次数中都位列前三。表明在该领域美国仍为主导地位。中国在本领域科研影响力还远远不够，主要原因（1）可能是中国食管癌的人工智能研究起步较晚，研究没有铺开，彼此之间合作太少未形成研究体系，在世界范围学术影响力较低；（2）人工智能的核心算法缺乏创新，与国际先进研究人员合作较少；（3）还可能与现阶段国内普遍存在的科研平均质量不高有关，而诚信则是科研质量和影响力最基础的保障，2018 年国务院办公厅印发《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》有助于规范、监督国内科研诚信，逐步改变国际学科主导中国高发文低引用现况[10]。在 AI 应用于食管癌领域共被引文献研究中以《Gastrointestinal Endoscopy》杂志（IF=9.43）和《Ca-A Cancer Journal For Clinicians》杂志（IF=508.7）最为重要，两本均为 Q1 杂志，研究领域与胃肠病、肿瘤学密切相关。其中《Gastrointestinal Endoscopy》的总引文数量远远超过其他期刊，表明该杂志在该领域的重要影响。可以预见，未来将有更多关于人工智能在食管癌中应用的文章优先发表在上述期刊上。此外，《Gastroenterology》、《Gastric Cancer》、《Endoscopy》也是高收益期刊，它们也有可能在未来发表更多高质量的文章，以提高学术地位和影响因素。共被引分析除了通常用于评估文章或作者的相关性，它还可以作为评价作者个人学术影响力的指标[11][11,[12]12]，如中国人共被引次数最高的文章中 Guo LJ 等人[13]，该文主要以深度学习模型证明了内窥镜图像和视频数据集的高灵敏度和特异性，同时论证了实时计算机辅助诊断系统（Computer-assisted Diagnosis，CAD）系统可以帮助内窥镜医生诊断癌前病变和食管腺癌。

从共被引参考文献聚类结果来看研究前沿变化，最早的研究集中在“肿瘤分割”（#6）[14]，目前的研究热点是“深度学习”（#2）[15]和“内窥镜”（#9）[16]、胃肠内窥镜（#5）[17]，表明早期食管癌的研究主要侧重于食管肿瘤类别的划分、分割，然后转向使用深度学习等其他技术来实现诊断准确性、快速诊断和早期诊断。从关键词频率的研究可以反映整体研究热点发展变化，整体关键词分为三类大，分别为癌症、腺癌和食管癌，提示早期研究主要是作为总癌种分析的部分内容（食管癌种类的区分、识别），具体研究内容包括了风险、诊断、预后展开。但该时期受限于所用的分析技术，数据分析仍处于小范围、浅显分析。关键词两个阶段分析提示：（1）在 2000~2016 年领域发展早期（迟缓期），风险识别、p53 等食管癌基因研究为当时研究前沿，这与当时其他癌症如前列腺癌领域 AI 研究大为不同，后者此时主要以癌筛查方法、手术治疗方法为主要内容[18]；（2）在 2017~2022 年爆发增长期，人工智能在食管癌主要应用领域得以显现，计算机辅助诊断、计算机辅助治疗成为主要应用方向，深度学习更是作为最高词频人工智能具体方法名称出现，如在早期检查、准确区分癌前病变和肿瘤病变，确定手术治疗期间浸润性肿瘤边缘，监测疾病进展和获得性耐药，以及预测肿瘤

侵袭性、转移模式和复发风险，医学成像技术和生物标志物为解食管癌症检测、治疗和监测提供了技术支持。这表明在这一阶段更深技术层面的 AI 开始发挥作用。

整体而言，食管癌领域 AI 的应用表现出滞后性。在延迟了至少 10 年后，才开始与其他癌症一样开展全面 AI 应用于 ESCA 的探索，出现这一现象的原因可能与 AI 在癌症领域应用转化处于初级阶段、推广应用效果受限有关[19]。对比在食管癌与其他癌种领域，未来有关食管癌预后生存及风险因素的模型探究势必将成为热点。从 2000~2022 年的关键词突现分析结果可以验证以上分析。特别的，在 2018 年首次突现了数据库一词，显然随着大数据的出现，对大量数据的处理和应用已经成为一种重要的研究方法。通过大数据，我们可以应用人工智能对食管癌进行全面的分析和深入的研究。但同时数据获取需要大量的人力和财力，使得数据收集非常困难和宝贵，这可能也是大多数研究缺乏合作的原因之一。最后，在研究局限性上，此次仅纳入英语文献，这可能导致其他语言的优秀文献缺失（如我国 2020 年曾提倡将“论文写在祖国大地上”[20]），存在一定的文献选择偏倚。在未来的研究中，考虑合并知网、万方、Pubmed、Scopus 和 Google Scholar 等数据库所有文献，并进行比较以获得更全面的结果。

批注 [tt6]: 依据问题 3、4，补充了文章研究不足之处。倡导“把文章写在祖国大地上”的文件补充为文献进行引用。

4 展望

人工智能具有无可争辩的潜力，在实验室环境中，它已显示出足够好的性能、足够高的精度，可以增强对癌症患者的护理，并更广泛地影响癌症领域。随着人工智能的进一步发展，食管癌整体朝着精准检查、诊断和治疗的方向发展。未来 AI 应用于食管癌的挑战可能主要存在于食管癌个体化数据收集（等除指标以外信息，如基因信息）、数据质量（如数据差异之种族差异）、数据处理规范（电子健康记录结构不一致）、AI 代码复现（还不能做到共享代码并重现、推广已有结果）辅助诊断可信度决策（结果经受实践检验才能真正可信）上。

5 作者贡献

（1）涂嘉欣、吴磊 提出想法；总体研究目标的制定，研究方法的开发或设计；研究模型构建；已发表作品的准备、创作和/或展示，特别是可视化/数据展示;。

（2）叶惠清、林雪婷 收集、清洗和保留研究数据（包括软件代码）以供研究使用和重复研究。

（3）张小强、吴磊 研究课题提供资金支持；对研究活动规划和执行的监督和领导，包括核心团队的指导。

（4）杨善岚、邓莉芳 研究项目规划及执行的管理和协调。

参考文献:

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA Cancer J Clin. 2021.71(3):209-249.

[2] Shin HC, Roth HR, Gao M, et al. Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning. IEEE Trans Med Imaging2016. 35(5):1285–98.

[3] Zhang X, Zou J, He K, et al. Accelerating Very Deep Convolutional Networks for Classification and Detection. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2016.38(10):1943–55.

[4] Horie, Y.; Yoshio, T.; Aoyama, K.; et al. Diagnostic outcomes of esophageal cancer by artificial intelligence using convolutional neural networks. Gastrointest. Endosc.2019. 89:25–32.

[5] Tokai, Y.; Yoshio, T.; Aoyama, K.; et al. Application of artificial intelligence using convolutional neural networks in determining the invasion depth of esophageal squamous cell carcinoma. Esophagus 2020.17:250–256。

[6] Chen C, Hu Z, Liu S, et al. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace. Expert Opin Biol Ther. 2012.12(5):593-608.

[7] Kann BH, Hosny A, Aerts HJWL. Artificial intelligence for clinical oncology. Cancer Cell. 2021.39(7):916-927.

[8] Goyal H, Sherazi SAA, Mann R, et al. Scope of Artificial Intelligence in Gastrointestinal Oncology. Cancers (Basel). 2021.13(21):5494.

[9] Xu Z, Liu R, Guo L, et al. The 100 most-cited articles on bibliotherapy: a bibliometric analysis. Psychol Health Med. 2022.26:1-17.

[10] 中共中央办公厅、国务院办公厅印发.关于进一步加强科研诚信建设的若干意见[EB/CD].http://www.gov.cn/zhengce/2018-05/30/content_5294886.htm.2018-5-30/2022-4-29.

Issued by the General Office of the Central Committee of the Communist Party of China and the General Office of the State Council. Several Opinions on Further Strengthening the Construction of Scientific Research Integrity [EB/CD]. http://www.gov.cn/zhengce/2018-05/30/content_5294886.htm. 2018-5-30/2022-4-29.

[11] Niu Y, Guo C, Wen S, et al. ADT With Antiandrogens in Prostate Cancer Induces Adverse Effect of Increasing Resistance, Neuroendocrine Differentiation and Tumor Metastasis. Cancer

Lett. 2018. 439: 47–55.

[12] Xu L, Yin Y, Li Y, et al. A Glutaminase Isoform Switch Drives Therapeutic Resistance and Disease Progression of Prostate Cancer. Proc Natl Acad Sci USA. 2021.118(13): e2012748118.

[13] Guo L J, Xiao X, Wu C C, et al. Real-time automated diagnosis of precancerous lesions and early esophageal squamous cell carcinoma using a deep learning model (with videos)[J]. Gastrointestinal Endoscopy. 2020. 91(1):41-51.

[14] Endo T, Awakawa T, Takahashi H, et al. Classification of Barrett's epithelium by magnifying endoscopy. Gastrointest Endosc. 2002.55(6):641-7.

[15] Gehrung M, Crispin-Ortuzar M, Berman AG, et al. Triage-driven diagnosis of Barrett's esophagus for early detection of esophageal adenocarcinoma using deep learning. Nat Med. 2021.27(5):833-841.

[16] Fan X, Wu Q, Li R, et al. Clinical benefit of tunnel endoscopic submucosal dissection for esophageal squamous cancer: a multicenter, randomized controlled trial[J]. Gastrointestinal Endoscopy. 2022. 21: S0016-5107(22)00286-3.

[17] Kim J, Gong EJ, Seo M, et al. Timing of endoscopy in patients with upper gastrointestinal bleeding. Sci Rep. 2022.27;12(1):6833.

[18] Shen Z, Wu H, Chen Z, et al. The Global Research of Artificial Intelligence on Prostate Cancer: A 22-Year Bibliometric Analysis. Front Oncol. 2022.1;12:843735.

[19] Nagendran M, Chen Y, Lovejoy CA, et al. Artificial intelligence versus clinicians: systematic review of design, reporting standards, and claims of deep learning studies. BMJ. 2020. 25;368:m689.

[20] 中国科技办公厅. 科技部办公厅关于加强新型冠状病毒肺炎科技攻关项目管理有关事项的通知[J].现代养生,2020. 20(Z1):6.

批注 [tt7]: 补充作为文献。